

Solar- und Umweltenergie für effiziente Wärme- und Kälteerzeugung

Einleitung

Mit dem European Green Deal hat Europa seine Klimaschutzziele nach oben korrigiert und einen weiteren, erforderlichen Schritt auf dem Weg zur Dekarbonisierung unternommen. Die neuen europäischen Zielvorgaben sind in Deutschland mit der Verabschiedung des Klimaschutzgesetzes seit Ende 2019 schon verbindlich festgeschrieben, wobei hier bereits spezifische CO₂-Budgets für die Einzelsektoren definiert werden. Die Umsetzung dieser Ziele verlangt eine radikale Transformation des heutigen Energieversorgungssystems.

Der Umbau des komplexen und heterogenen Wärmebereiches stellt dabei eine der größten Herausforderung dar: Wärme ist in Europa für über 50% des Endenergieverbrauches verantwortlich, wird aber gegenwärtig nur zu 22% aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt. Aus geoklimatischen, kulturellen und politischen Gründen sind dabei die Anteile in den einzelnen europäischen Ländern sehr unterschiedlich (► **Abbildung 1**). Unter den Spitzenreitern sind Schweden (66%) und Dänemark (48%). Unser Nachbarland Österreich erreicht immerhin 34%. Im Vergleich dazu liegt Deutschland mit 15% abgeschlagen auf einem hinteren Platz.

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien ist neben der Steigerung der Energieeffizienz die tragende Säule der Wärmewende, wobei hier ein breiter Mix an Technologien gefragt ist.

Die direkte Nutzung der Wärmetechnologien hat weiterhin Priorität, erfordert aber eine stark beschleunigte Erschließung der vorhandenen Potenziale sowie einen nachhaltigen Umgang mit wertvoller Biomasse.

Die Sektorenkopplung bietet die notwendige Ergänzung für die geplante Transformation (BMWi, 2021). Solarenergie in Form von Solarwärme und Solarstrom wird somit in Kombination mit Umweltwärme eine zentrale Rolle im zukünftigen Wärme- und Kälteversorgungssystem spielen. Darauf fokussiert sich der Beitrag, wobei die spezifische Situation der Niedertemperatur-Solarthermie und der Schlüsseltechnologie Wärmepumpe adressiert werden.

Nach einem kurzen Überblick über die aktuelle Marktentwicklung und den Forschungsbedarf werden repräsentative Projekte des Forschungsverbundes Erneuerbarer Energien (FVEE) vorgestellt.

Rolle im Energiesystem

Wärmepumpen und Solarthermie übernehmen im laufenden Transformationsprozess klar unterschiedliche Funktionen:

Unter der Voraussetzung einer ausreichenden Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien soll sich die Wärmepumpe als dominierender „grüner“ Wärmeerzeuger progressiv etablieren. Mehrere Studien rechnen beispielsweise, dass in Deutschland die Installation von über 6 Mio. Anlagen bis 2030 notwendig sei, im Vergleich zu einem Bestand von 1,2 Mio. Ende 2020 (Dena, 2018; Prognos et al., 2020; BWP, 2021).

Im Unterschied zur Wärmepumpe kann Solarthermie nur in sehr seltenen Fällen Wärmeerzeuger komplett ersetzen, sie lässt sich aber in allen zukunftsrelevanten Wärmeversorgungssystemen vorteilhaft integrieren. Solarthermie kann den Verbrauch fossiler Brennstoffe in Heizkesseln, welche noch lange eine wichtige Rolle spielen werden (BMWi, 2021), sowie auch kostbarer Biomasse oder synthetischer Gase senken. Sie erhöht zudem die Effizienz von Wärmepumpenanlagen und ist sowohl für die dezentrale als auch für die netzgebundene Wärmeversorgung optimal geeignet.

Marktentwicklung

Auch der Markt zeigt für die zwei Technologien unterschiedliche Entwicklungen:

Im Wärmepumpenbereich sind auf europäischer Ebene bis Ende 2019 ca. 14 Mio. Anlagen installiert worden, mit Absatzsteigerungen von 11% bis 14% in den letzten 5 Jahren. Bei der Marktdurchdringung führen hier die skandinavischen Länder, Spanien, Frankreich und die Schweiz. Deutschland weist dagegen immer noch einen von Heizkesseln stark dominierten Anlagenpark und einen hohen Nachholbedarf auf, vor allem bei Bestandsgebäuden (EHPA, 2020).



ISFH

Dr. Federico Giovannetti
f.giovannetti@isfh.de

Fabian Hüsing
huesing@isfh.de

DBFZ

Daniel Büchner
daniel.buechner@dbfz.de

Heike Gebhardt
heike.gebhardt@dbfz.de

Fraunhofer IEE

Dr. Dietrich Schmidt
dietrich.schmidt@iee.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Dr. Constanze Bongs
constanze.bongs@ise.fraunhofer.de

Dr. Lena Schnabel
lena.schnabel@ise.fraunhofer.de

IZES

Dr. Christoph Schmidt
schmidt@izes.de

KIT

Prof. Dr. Eva Schill
eva.schill@kit.edu

Dr. Ferdinand Schmidt
ferdinand.schmidt@kit.edu

Wuppertal Institut

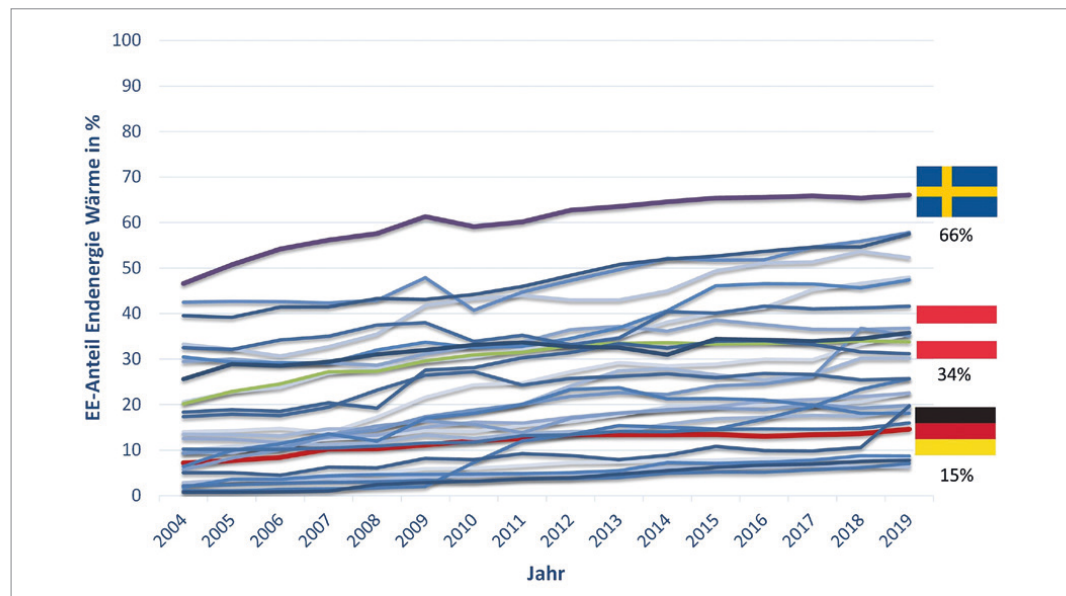
Dietmar Schüwer
dietmar.schuewer@wupperinst.org

ZAE

Dr. Bastian Büttner
bastian.buettner@zae-bayern.de

Dr. Andreas Hauer
andreas.hauer@zae-bayern.de

Abbildung 1
Erneuerbare Wärme in Europa:
Anteil
erneuerbarer Energien
am Endenergieverbrauch
für Wärme und Kälte in
den europäischen
Ländern
(Entwicklung 2004-2019)
(Quelle: ISFH aus Eurostat-Daten)



Bei der Solarthermie zeigt der europäische Markt erst in den letzten zwei Jahren eine leichte Erholung nach einer sehr langen rückgängigen Entwicklung, mit Absatzsteigerung von jeweils 2,4 % (2018) und 3,4 % (2019). Allgemein zu beobachten ist eine verstärkte Installation von Anlagen zur Trinkwassererwärmung in Südeuropa (Griechenland, Portugal, Spanien) und von Anlagen zur Unterstützung von Wärmenetzen in ganz Europa. 10 % der zugebauten Kollektorfläche wurde in diesem Anwendungsbereich im Jahr 2019 installiert (Solar Heat Europe, 2020).

Um die definierten Klimaziele zu erreichen, ist für beide Technologien eine deutlich höhere Marktdynamik erforderlich, die nur mit einer Kombination aus ordnungsrechtlichen Maßnahmen und geeigneten Anreizprogrammen möglich ist. Wie entscheidend politische Instrumente sind, zeigen die Auswirkungen der Anfang 2020 in Deutschland eingeführten Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG), mit Absatzzahlen für Solarthermie und Wärmepumpen die auf jeweils 26 % und 40 % explodiert sind.

Forschungsbedarf

Wenn die Schaffung des notwendigen Rahmens für die Umsetzung der Wärmewende Aufgabe der Politik ist, bleibt die Forschung ein unverzichtbares Mittel um wichtige offene Fragen im Laufe dieses Transformationsprozesses zu beantworten.

Bei der **Wärmepumpe** liegt der Fokus im Komponentenbereich auf der Effizienzsteigerung, vor allem in Kombination mit einer Erweiterung der Einsatzgren-

zen für Quellen- und Senktemperatur (z. B. für Bestandsgebäude, Wärmenetze und industrielle Anwendungen), sowie auf der Nutzung alternativer klimafreundlicher Kältemittel.

Auf der Systemebene spielen Integration und Regelung unter Berücksichtigung eines nachhaltigen und netzdienlichen Betriebes die zentrale Rolle.

Übergeordnete Ziele der Forschung bei der Niedertemperatur-Solarthermie sind die weitere Senkung der Wärmegestehungskosten und eine effiziente Integration dieser Technologie in CO₂-arme Energieversorgungssysteme.

Auf der Komponentenebene stehen die anwendungsspezifische Entwicklung von thermischen und photovoltaisch-thermischen Kollektoren (z. B. für Großanlagen, Wärmepumpensysteme) sowie die weitere Leistungssteigerung bei Wärmespeichern im Vordergrund.

Zunehmend wichtig für eine erfolgreiche und schnelle Umsetzung der Wärmewende werden (unabhängig von der betrachteten Technologie) die Demonstration und die wissenschaftliche Begleitung von Feldtests, um die Wirksamkeit der technischen Innovationen in der Praxis zu gewährleisten.

Ebenso die Einbeziehung von nicht-technischen Aspekten in den F&E-Aktivitäten (z. B.: Akzeptanz, Erprobung innovativer Geschäftsmodelle).

Damit verbunden sind komplexere Projekte auf größerer Skala, die systemische Ansätze und Lösungen nicht nur für Einzelgebäude, sondern auch für Quartiere erarbeiten.

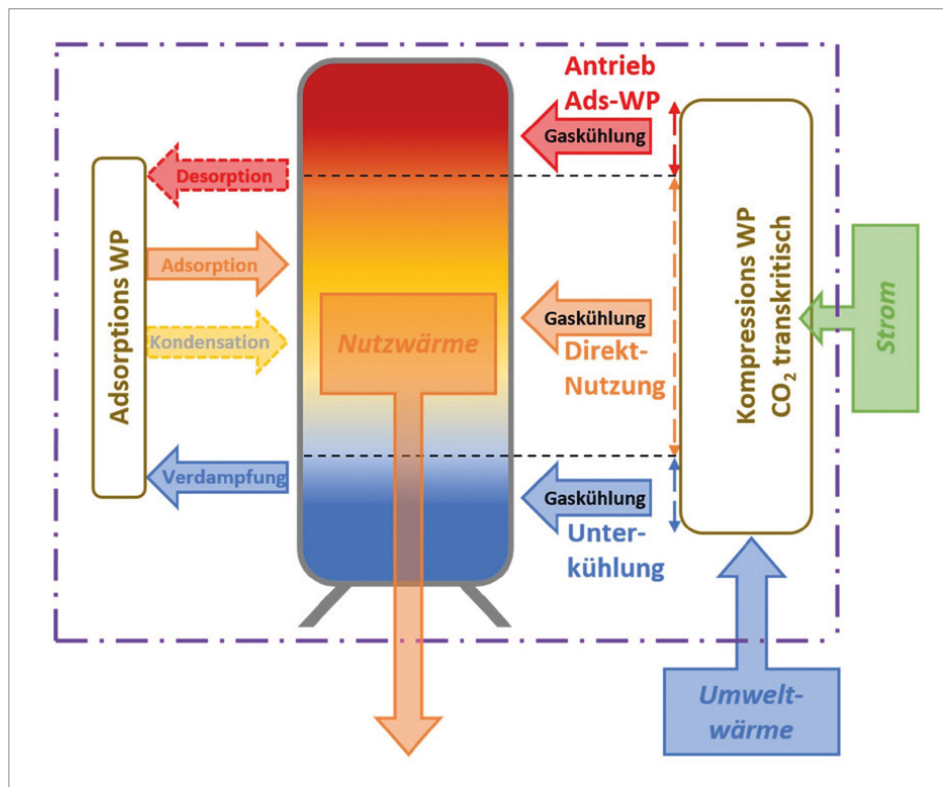


Abbildung 2

Schema einer neuartigen Hybridwärmepumpe für Mehrfamilien-Bestandsgebäude

(Quelle: KIT)

Aktuelle FVEE-Aktivitäten

Mit Bezug auf die genannten Forschungsbedarfe werden im Folgenden repräsentative Projekte der FVEE-Mitglieder auf den Gebieten Solarwärme und Wärmepumpen dargestellt.

Neuartige Hybridwärmepumpe

Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wird im Rahmen des Vorhabens LowEx-Bestand (BMW, FKZ 03SBE0001) am Konzept einer neuartigen Hybridwärmepumpe für Mehrfamilien-Bestandsgebäude gearbeitet, die einen CO₂-Kompressionszyklus mit einem Adsorptionszyklus kombiniert (► *Abbildung 2*). Die wichtigsten Ziele dabei sind: die Effizienzsteigerung des CO₂-Zyklus durch die Kopplung mit dem Adsorptions-Hilfszyklus, die vorteilhafte Integration mit einem Wärmespeicher, der einen netzdienlichen Betrieb ermöglicht, und die Möglichkeit, den Adsorptionsteil des Systems mit einem zusätzlichen Gasbrenner als Gaswärmepumpe zu betreiben.

Im Gaswärmepumpen-Modus reduziert das System den Gasverbrauch gegenüber einer heute marktverfügbaren „Hybridwärmepumpe“, die letztlich ein bivalentes System aus einer auf die Grundlast skalierten Kompressionswärmepumpe und einem Gas-Spitzenlastkessel ist. In der Praxis wird so ein bivalentes System bei den für die nächsten Jahre absehbaren Strom- und Gaspreisen in Deutschland

aber überwiegend im Gasbetrieb arbeiten und somit nur geringe Einsparungen gegenüber einem Gasbrennwertkessel erreichen.

Monitoring von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Schwerpunkt derzeitiger Arbeiten im Wärmepumpenbereich am Fraunhofer ISE ist die Analyse der Anwendung von Systemen in Bestandsgebäuden. Im Projekt „WP Smart im Bestand“ (BMW FKZ 03ET1272) wurde ein wissenschaftliches Monitoring von Wärmepumpenanlagen in Einfamilien-Bestandsgebäuden durchgeführt. Für den Zeitraum Juli 2018 bis Juni 2019 konnten 29 Außenluft-Wärmepumpen, die zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt wurden, analysiert werden. Diese Anlagen erreichten Jahresarbeitszahlen (JAZ) von 2,5 bis 3,8 bei einem Mittelwert von 3,1. Analog zu den Außenluft-Wärmepumpen konnten 12 Erdreich-Wärmepumpen analysiert werden. Hier wurden JAZ zwischen 3,3 und 4,7 bei einem Mittelwert von 4,1 ermittelt (► *Abbildung 3*).

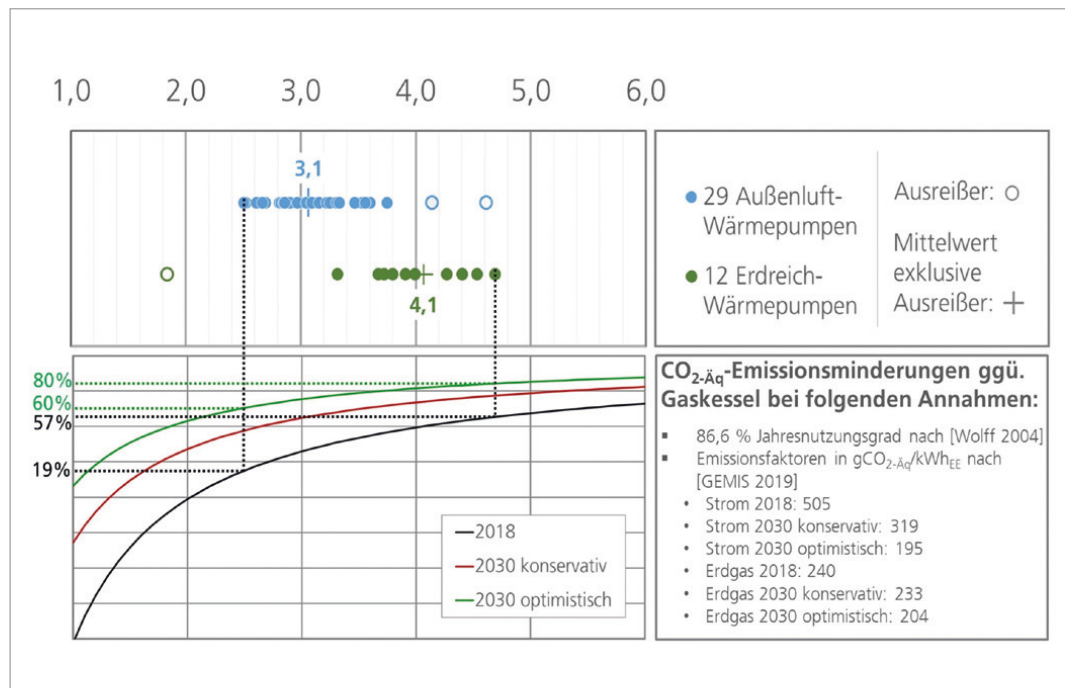
Die Ergebnisse zeigen, dass Wärmepumpen auch in Bestandsgebäuden zweckmäßig eingesetzt werden können, vor allem unter ökologischen Gesichtspunkten. Entscheidend dabei ist die erforderliche Heizkreistemperatur, welche wiederum vom spezifischen Heizwärmebedarf und den installierten Wärmeübergabesystemen abhängt. Die Analyse der

Abbildung 3

Feldtests von Wärmepumpen in Einfamilien-Bestandsgebäuden:

Jahresarbeitszahlen und CO_2 -Bewertung

(Quelle: Fraunhofer ISE)



Gebäude hat gezeigt, dass keine Komplettsanierung auf einen energetischen Neubaustandard notwendig ist, um Wärmepumpen zweckmäßig zu betreiben. Diese Zusammenhänge werden auch für den Mehrfamilienhausbestand, u. a. im Projekt SQ-Durlach (BMW FKZ 03ET1590) erprobt. Hier wird ein wirtschaftliches und effizientes Energiekonzept umgesetzt, das Wärmepumpen mit Photovoltaik und BHKWs kombiniert. Dabei kommen Wärmepumpen mit innovativen Wärmequellen (PVT-Kollektoren (Photovoltaik + Solarthermie) und Mehrquellenanlage mit Erdwärme und Außenluft)) zum Einsatz, die insbesondere für den dicht besiedelten urbanen Raum geeignet sind. Als minimalinvasive LowEx-Sanierungsmaßnahme mit hoher Wirtschaftlichkeit wurde ein Ansatz zum gezielten Austausch kritischer Heizkörper entwickelt und untersucht.

Systembewertung von Wärmepumpen

Auch das Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) hat neben seiner traditionellen Kompetenz auf den solarthermischen und photovoltaischen Gebieten, seine Aktivitäten und apparative Ausstattung im Bereich Wärmepumpen in den letzten Jahren aufgebaut, wobei der Schwerpunkt auf der Systementwicklung und -bewertung liegt.

Ein aktuelles Beispiel dafür ist das vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) geförderte Projekt „WPP-SYS“. Zentrales Projektziel ist die Erarbeitung eines Verfahrens zur dynamischen Prüfung von Wärmepumpen im System unter Berücksichtigung ihrer realen Betriebsbedingungen.

Dafür wurde der bestehende Wärmepumpenprüfstand mit einer Hardware-in-the-Loop (HiL) Umgebung erweitert, die sowohl die physische Integration als auch die Emulation wesentlicher Systembestandteile mittels gekoppelter Echtzeitsimulation ermöglicht und damit eine hohe Flexibilität sowie Reproduzierbarkeit bietet (► *Abbildung 4*). Weiterhin werden im Projekt relevante Systemkonfigurationen und Testzyklen identifiziert, als Simulationsmodelle umgesetzt und mit der Prüfstandssoftware vernetzt.

PVT-Kollektoren als alternative Wärmepumpenquellen

Ein weiteres Thema, das am ISFH intensiv untersucht wird, ist die Erschließung alternativer Wärmepumpenquellen. Neben Luft und Erdreich beschäftigt sich das Institut mit dem Einsatz von PVT-Kollektoren im Rahmen verschiedener Projekte, z. B. „Twin Power“ (BMW, FKZ 0325867) oder „IntegraTE“ (BMW, FKZ 03EGB0023). Dabei wurden sowohl die vorteilhafte kleinere Dimensionierung von Erdreichquellen durch solare Regeneration als auch die mögliche Anwendung als alleinige Wärmequelle bewiesen.

Am ZAE Bayern wird im Rahmen des Projektes RENBuild (BMW, FKZ 03EN1009) ein Gewerkeübergreifendes Gesamtsystem entwickelt, dessen optimierte Komponenten eine möglichst hohe Energieeffizienz bei gleichzeitiger Nutzung regenerativer Energien erlauben.

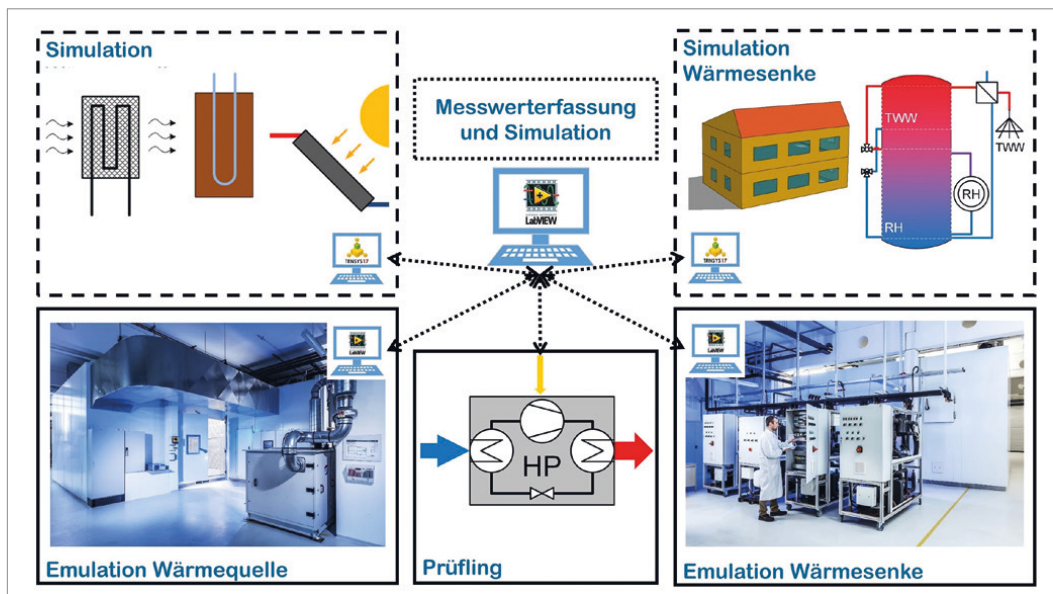


Abbildung 4

Hardware-in-the-Loop-Umgebung zur dynamischen Bewertung von Wärmepumpensystemen
(Quelle: ISFH)

Kernstück des Systems ist ein PVT-Kollektor, der gleichzeitig Strom, Wärme und Kälte rein regenerativ erzeugt (► **Abbildung 5**). Tagsüber wird Solarenergie in Strom und Wärme umgewandelt, während nachts Umweltkälte – im Wesentlichen durch langwelligem Strahlungsaustausch mit dem kalten Nachthimmel – genutzt wird. Die dabei erreichten Temperaturen können sehr effizient in Niedertemperaturheiz- und -kühlsystemen wie z.B. Heiz-/Kühldecken, Fußbodenheizung/-kühlung oder aktiven Konvektoren mit geringer Über- bzw. Untertemperatur genutzt werden.

Eine Wärmepumpe kann die Temperaturen weiter anheben bzw. absenken. Entsprechend angepasste und optimierte Wärme- und Kältespeicher sorgen für die Überbrückung der Fehlzeiten zwischen Erzeugung und Bedarf. Die Einbindung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung komplettiert das Gesamtsystem. Eine intelligente Steuerung erlaubt das effiziente Zusammenspiel der Komponenten und ist dabei auf eine möglichst hohe Eigennutzung ausgelegt. Die Speicher erlauben jedoch auch netzdienliche Funktionen wie z.B. power-to-heat oder power-to-cold. Die Integration der PVT-Kollektoren

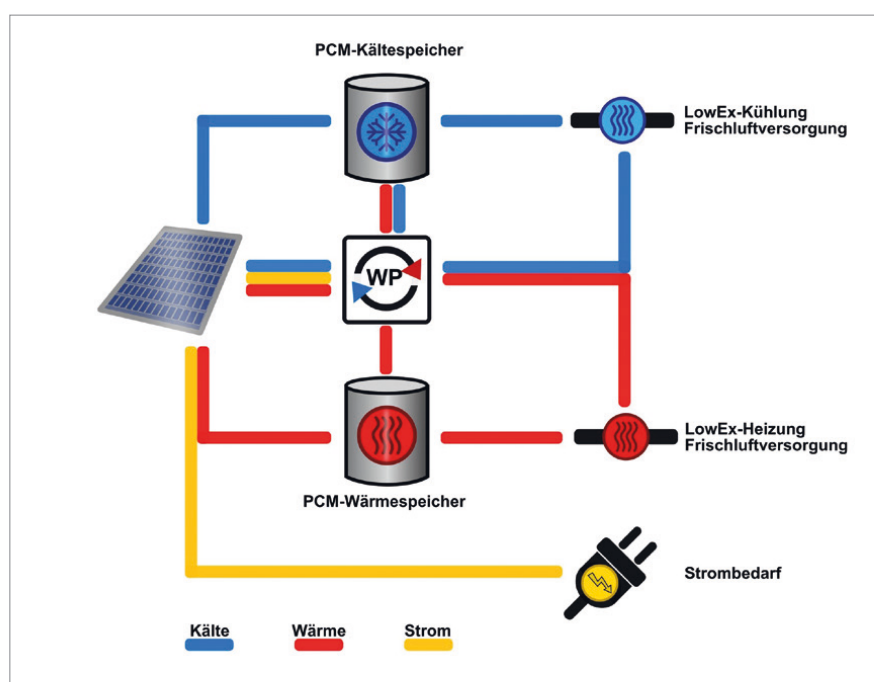


Abbildung 5

Gewerke-übergreifendes Gesamtenergieversorgungssystem basierend auf PVT und Wärmepumpe
(Quelle: ZAE Bayern)

erfolgt schließlich gebäudeintegriert. Vor allem die Fassade erlaubt bei Gebäuden mit zu geringer Dachfläche (z. B. mehrgeschossige Bürogebäude) eine Vergrößerung der aktiv nutzbaren Fläche.

Am Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) werden Wärmepumpen und PVT-Kollektoren in Kombination mit dem dort entwickelten Konzept der außenliegenden Wandtemperierung untersucht. Dieses System wird in Form von wasserführenden Kapillarrohrmatten oder diskreten Rohren zwischen der Bestandswand und einem neuen Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen installiert. Die Integration in den Gebäudebestand erfolgt unabhängig vom Wohnungszustand des Gebäudes bzw. den Raumhöhen o. ä. im Inneren und damit minimal invasiv. Zusätzlich wird dadurch die Bestandsstruktur des Gebäudes als Speicher für Wärme/Kälte nutzbar gemacht. Das niederexergetische Temperierungssystem eignet sich optimal als Wärmesenke für Wärmepumpen, Solarthermie und Niedertemperatur-Abwärme.

Im Projekt „Lexu II“ (BMW, 0327370) wurde sein Einsatz in Verbindung mit innovativen Systemen in verschiedenen Feldtestanwendungen untersucht. Ein Schwerpunkt dabei war das Wärmequellenmanagement für ein Konzept bestehend aus Wärmepumpe, PVT-Kollektoren und Eisspeicher.

Neben Forschungsaktivitäten im Bereich der Komponenten- und Systementwicklung für Einzelgebäude ist der FVEE sehr stark involviert in Projekten auf größerer Skala zur Erarbeitung, Umsetzung und Monitoring von innovativen Wärmeversorgungskonzepten für Quartiere und Siedlungen. Wärmepumpen und Solarwärme spielen auch hier eine große Rolle:

Methodik zur Transformation von Wärmenetzen

Im laufenden Projekt „SmartBioGrid“ (BMW, FKZ 03KB159) untersucht beispielsweise das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) die Transformation von fossil betriebenen hin zu mit erneuerbarer Energie versorgten Wärmenetzen.

Wärmenetze können einen erheblichen Beitrag zur Emissionsminderung leisten, da sowohl die Möglichkeit der räumlichen Trennung von Wärmequellen und Wärmesenken als auch des zeitlichen Ausgleichs zwischen Wärmeangebot und Wärmebedarf besteht und somit der Einsatz von volatilen, regenerativen Wärmequellen erleichtert wird. Allerdings sind die möglichen Optionen und die Wirtschaftlichkeit verschiedener Entwicklungskonzepte stark von der jeweiligen Netz- und Abnehmerstruktur sowie der Verfügbarkeit von Flächen und unterschiedlichen Wärmequellen abhängig. Es gibt daher kein universelles Netztransformationkonzept für alle Bestandsnetze.

Im Projekt wird eine standardisierte softwaregestützte Methodik entwickelt, die das Bestandnetz analysiert und die Auslegung sowie die Betriebsoptimierung ausgewählter Technologien unter Berücksichtigung von technischen und rechtlichen Aspekten ermöglicht. Die hierfür entwickelten Hilfsmittel und Programme werden allen Anwendern nach Projektabschluss kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in der Siedlung „Zum Feldlager“

Im Rahmen einer Studie hat das Fraunhofer IEE ein vollständig regeneratives Konzept sowie ein entsprechendes Geschäftsmodell zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in der Siedlung „Zum Feldlager“ bei Kassel konkret erarbeitet und untersucht. Im Vorfeld wurden verschiedene Varianten anhand einer multikriteriellen Bewertung (Energie, Ökologie, Kosten, Akzeptanz, Umsetzungspotenzial) ausgewählt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Kombination einer zentralen erdreichgekoppelten Wärmepumpe, Niedertemperatur-Wärmenetze und dezentrale Solarthermie im Vergleich zu traditionellen auf fossilen Brennstoffen basierten Lösungen (dezentrale Gaskessel und Kraftwärmekopplung) die CO₂-Emissionen um 60% reduzieren können. Diese Reduktion ist zudem bei ähnlichen bzw. niedrigen (-5%) Wärmegestehungskosten erreichbar. Das Konzept wurde aufgrund der langwierigen Genehmigungsverfahren für die Erschließung des Sondenfeldes leider nicht umgesetzt, was die Komplexität der Transformation des Energiesystems und die wichtige Rolle der nicht-technischen Aspekte bestätigt.

Wärmeversorgungskonzept für die ehemalige Zeche Westerholt

Besonders zu erwähnen in Bezug auf die transdisziplinäre Dimension der Energiewende und den entscheidenden Einfluss der nicht-technischen Faktoren für eine erfolgreiche Umsetzung innovativer Konzepte ist schließlich das abgeschlossene Projekt „LowEX Herten“, das vom Wuppertal Institut bearbeitet und von der Stiftung Mercator gefördert wurde. Zielsetzung war hier die Entwicklung eines wirtschaftlich, ökologisch und sozial optimalen Wärmeversorgungskonzepts für die Konversionsfläche der ehemaligen Zeche Westerholt in Gelsenkirchen-Herten. Im Fokus stand das Gesamtsystem der Wärmeversorgung, bestehend aus Netz, Speicher und Erzeugung. Angestrebt wurde eine Niedertemperaturversorgung (LowEx), welche Technologien der Sektorkopplung und weitere erneuerbare Energiequellen wie Solarthermie, Erdwärme und Abwärmequellen einbinden kann. Anzumerken ist dabei die integrierte Analyse technisch-infrastruktureller sowie sozio-ökonomischer und -kultureller Umsetzungsvoraussetzungen, die durch die Einbindung der verschiedenen involvierten Akteuren und die Organisation einer partizipativen Reallabor-Veranstaltung mit Bürgerbeteiligung erfolgte.

Die Ergebnisse der Simulationsstudie haben gezeigt, dass die niedrigste Exergie über eine hybride Lösung erreicht wird, die ein zentrales Kaltnetz (20 °C) und dezentrale Wärmepumpen für den Neubau mit Fernwärme und Solarthermie für den Bestand kombiniert. Übergeordnete Erkenntnisse aus dem Projekt sind die unerlässliche Rolle der strategischen Planung vor Ort, die Erschließung lokaler erneuerbarer Potenziale als kluge Vorsorgestrategie und das partizipative Konzept als Erfolgsmodell.

Literatur

- BMWi, 2021. Dialog Klimaneutrale Wärme – Zielbild, Bausteine und Weichenstellungen 2030/2050. Internet: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/dialog-klimaneutrale-waerme-zielbild-bausteine-weichenstellung-2030-2050.html> (Zugang: 22.02.2021)
- Bundesverband Wärmepumpe (BWP), 2021. Branchenstudie 2021: Marktanalyse, Szenarien, Handlungsempfehlungen. Vorabveröffentlichung. Internet: <https://www.waermepumpe.de/verband/publikationen/> (Zugang: 22.02.2021)
- Dena, 2018. dena-Leitstudie Integrierte Energiewende
- European Heat Pump Association (EHPA), 2020. European Heat Pump Market 2019.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020. Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.
- Solar Heat Europe, 2020. Solar Heat Markets in Europe 2019 – report. Internet: <http://solarheateurope.eu/publications/market-statistics/> (Zugang: 09.01.2021).